

PCT/JP2004/009518

29. 6. 2004

RECD 15 JUL 2004

EO PCT

PA 1148152

THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

March 29, 2004

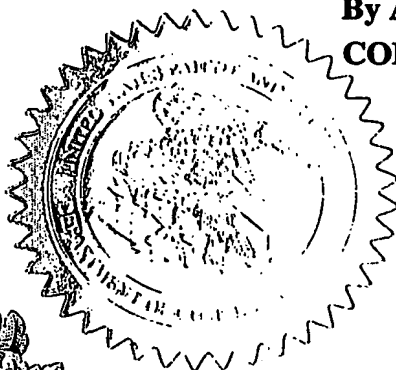
THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE UNDER 35 USC 111.

APPLICATION NUMBER: 60/486,543

FILING DATE: July 11, 2003

**PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)**

**By Authority of the
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS**



M. K. Hawkins

M. K. HAWKINS

Certifying Officer

PATENT APPLICATION SERIAL NO. _____

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
PATENT AND TRADEMARK OFFICE
FEE RECORD SHEET

07/16/2003 JADD01 00000013 60486543

01 FC:1005

160.00 DP

PTO-1556
(5/87)

Please type a plus sign (+) inside this box → ☐

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

Approved for use through 10/31/2002. OMB 0651-0032
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

Express Mail Label No.

EV004944181US

INVENTOR(S)

Given Name (first and middle (if any))

Family Name or Surname

Residence

(City and either State or Foreign Country)

Hisashi
Jun
Hiroshi

Kato
Ashihara
Kudo

Wako-shi, Japan
Wako-shi, Japan
Wako-shi, Japan

☒ Additional inventors are being named on the 1 separately numbered sheets attached hereto

TITLE OF THE INVENTION (280 characters max)

WALKING ASSISTANCE SUIT

Direct all correspondence to:

CORRESPONDENCE ADDRESS



Customer Number

007609

OR

Type Customer Number here

Place Customer Number
Bar Code Label here



Firm or
Individual Name

Rankin, Hill, Porter & Clark LLP

Address

925 Euclid Avenue, Suite 700

Address

City

Cleveland

State

Ohio

ZIP

44115-1405

Country

U.S.A.

Telephone

(216) 566-9700

Fax

(216) 566-9711

ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)



Specification Number of Pages

6



Drawing(s) Number of Sheets



CD(s), Number



Application Data Sheet. See 37 CFR 1.78



Other (specify)

Return Postcard

METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT



Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.



A check or money order is enclosed to cover the filing fees



The Commissioner is hereby authorized to charge filing fees or credit any overpayment to Deposit Account Number:

18-0160



Payment by credit card. Form PTO-2038 is attached.

FILING FEE
AMOUNT (\$)

\$160.00

The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.



No.



Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are:

Respectfully submitted,

SIGNATURE

David E. Spaw

Date

07/11/03

TYPED or PRINTED NAME

David E. Spaw

REGISTRATION NO.

34732

(if appropriate)

Docket Number:

SAT-14916

TELEPHONE

(216) 566-9700

USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

This collection of information is required by 37 CFR 1.51. The information is used by the public to file (and by the PTO to process) a provisional application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 8 hours to complete, including gathering, preparing, and submitting the complete provisional application to the PTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C. 20231. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Box Provisional Application, Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231.

PROVISIONAL APPLICATION COVER SHEET

Additional Page

PTO/SB/18 (02-01)
Approved for use through 10/31/2002. OMB 0851-0032
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

Docket Number	SAT-14916	Type a plus sign (+) inside this box →	+
INVENTOR(S)/APPLICANT(S)			
Given Name (first and middle (if any))	Family or Surname	Residence (City and either State or Foreign Country)	
Masakazu Yosuke Tatsuya	Kawai Endo Noda	Wako-shi, Japan Wako-shi, Japan Wako-shi, Japan	

Number 1 _ of _1 _

WARNING: Information on this form may become public. Credit card information should not be included on this form. Provide credit card information and authorization on PTO-2038.

17169 U.S. PTO
07/11/03

PTO/SB/17 (01-03)
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
Approved for use through 04/30/2003. OMB 0861-0032
Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

FEE TRANSMITTAL for FY 2003

Effective 01/01/2003. Patent fees are subject to annual revision.

☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27

TOTAL AMOUNT OF PAYMENT (\$ 160.00

Complete If Known

Application Number	N/A
Filing Date	Herewith
First Named Inventor	Hisashi Kato
Examiner Name	N/A
Art Unit	N/A
Attorney Docket No.	SAT-14916

METHOD OF PAYMENT (check all that apply)

☒ Check ☐ Credit card ☐ Money Order ☐ Other ☐ None

☒ Deposit Account:

Deposit Account Number: 18-0160
Deposit Account Name: Rankin, Hill, Porter & Clark LLP

The Commissioner is authorized to: (check all that apply)

☐ Charge fee(s) indicated below ☒ Credit any overpayments

☒ Charge any additional fee(s) during the pendency of this application

☐ Charge fee(s) indicated below, except for the filing fee to the above-identified deposit account.

FEE CALCULATION

1. BASIC FILING FEE

Large Entity Fee Code (\$)	Small Entity Fee Code (\$)	Fee Description	Fee Paid
1001 750	2001 375	Utility filing fee	
1002 330	2002 165	Design filing fee	
1003 520	2003 260	Plant filing fee	
1004 750	2004 375	Reissue filing fee	
1005 160	2005 80	Provisional filing fee	160
SUBTOTAL (1)			(\$ 160

2. EXTRA CLAIM FEES FOR UTILITY AND REISSUE

Total Claims	Extra Claims	Fee from below	Fee Paid
Independent	-20** =	X	
Multiple Dependent	-3** =	X	

Large Entity Fee Code (\$)	Small Entity Fee Code (\$)	Fee Description
1202 18	2202 9	Claims in excess of 20
1201 84	2201 42	Independent claims in excess of 3
1203 280	2203 140	Multiple dependent claim, if not paid
1204 84	2204 42	** Reissue independent claims over original patent
1205 18	2205 9	** Reissue claims in excess of 20 and over original patent

SUBTOTAL (2) (\$ 0

**or number previously paid, if greater; For Reissues, see above

FEE CALCULATION (continued)

3. ADDITIONAL FEES

Large Entity Fee Code (\$)	Small Entity Fee Code (\$)	Fee Description	Fee Paid
1051 130	2051 65	Surcharge - late filing fee or oath	
1052 60	2052 25	Surcharge - late provisional filing fee or cover sheet	
1053 130	1053 130	Non-English specification	
1812 2,520	1812 2,520	For filing a request for <i>ex parte</i> reexamination	
1804 920*	1804 920*	Requesting publication of SIR prior to Examiner action	
1805 1,840*	1805 1,840*	Requesting publication of SIR after Examiner action	
1251 110	2251 55	Extension for reply within first month	
1252 410	2252 205	Extension for reply within second month	
1253 930	2253 465	Extension for reply within third month	
1254 1,450	2254 725	Extension for reply within fourth month	
1255 1,970	2255 985	Extension for reply within fifth month	
1401 320	2401 160	Notice of Appeal	
1402 320	2402 160	Filing a brief in support of an appeal	
1403 280	2403 140	Request for oral hearing	
1451 1,510	1451 1,510	Petition to institute a public use proceeding	
1452 110	2452 55	Petition to revive - unavoidable	
1453 1,300	2453 650	Petition to revive - unintentional	
1501 1,300	2501 650	Utility issue fee (or reissue)	
1502 470	2502 235	Design issue fee	
1503 630	2503 315	Plant issue fee	
1480 130	1480 130	Petitions to the Commissioner	
1807 50	1807 50	Processing fee under 37 CFR 1.17(q)	
1808 180	1808 180	Submission of Information Disclosure Stmt	
8021 40	8021 40	Recording each patent assignment per property (times number of properties)	
1809 750	2809 375	Filing a submission after final rejection (37 CFR 1.129(a))	
1810 750	2810 375	For each additional invention to be examined (37 CFR 1.129(b))	
1801 750	2801 375	Request for Continued Examination (RCE)	
1802 900	1802 900	Request for expedited examination of a design application	

Other fee (specify)

*Reduced by Basic Filing Fee Paid

SUBTOTAL (3) (\$ 0

SUBMITTED BY

Name (Print/Type)	David E. Sparr	Registration No. (Attorney/Agent)	34732	Telephone (216) 566-9700
Signature		Date	July 11, 2003	

WARNING: Information on this form may become public. Credit card information should not be included on this form. Provide credit card information and authorization on PTO-2038.

This collection of information is required by 37 CFR 1.17 and 1.27. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 12 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, Washington, DC 20231. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, Washington, DC 20231.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 (1-800-786-9199) and select option 2.

Application Data Sheet

Application Information

Application Type::	Provisional
Subject Matter::	Utility
Suggested classification::	
Suggested Group Art Unit::	
CD-ROM or CD-R?::	None
Number of CD disks::	0
Number of copies of CDs::	0
Sequence submission?::	No
Computer Readable Form (CRF)?::	No
Number of copies of CRF::	0
Title ::	WALKING ASSISTANCE SUIT
Attorney Docket Number::	SAT-14916
Request for Early Publication?::	No
Request for Non-Publication?::	No
Suggested Drawing Figure::	N/A
Total Drawing Sheets::	0
Small Entity?::	No
Latin name::	
Variety denomination name::	
Petition included?::	No
Petition Type::	
Licensed US Govt. Agency::	
Contract or Grant Numbers::	
Secrecy Order in Parent Appl.?::	No

Applicant Information

Applicant Authority Type::	Inventor
Primary Citizenship Country::	Japan
Status::	Full Capacity
Given Name::	Hisashi
Middle Name::	
Family Name::	Kato
Name Suffix::	
City of Residence::	Wako-shi
State or Province of Residence::	
Country of Residence::	Japan
Street of mailing address::	c/o K.K. HONDA GIJYUTSU KENKYUSHO
City of mailing address::	4-1, Chuo 1-chome
State or Province of mailing address::	Wako-shi
Country of mailing address::	Saitama-ken
Postal or Zip Code of mailing address::	Japan

Applicant Authority Type::	Inventor
Primary Citizenship Country::	Japan
Status::	Full Capacity
Given Name::	Jun
Middle Name::	
Family Name::	Ashihara
Name Suffix::	
City of Residence::	Wako-shi
State or Province of Residence::	
Country of Residence::	Japan
Street of mailing address::	c/o K.K. HONDA GIJYUTSU KENKYUSHO
City of mailing address::	4-1, Chuo 1-chome
State or Province of mailing address::	Wako-shi
	Saitama-ken

Country of mailing address:: Japan

Postal or Zip Code of mailing address::

Applicant Authority Type:: Inventor

Primary Citizenship Country:: Japan

Status:: Full Capacity

Given Name:: Hiroshi

Middle Name::

Family Name:: Kudo

Name Suffix::

City of Residence:: Wako-shi

State or Province of Residence::

Country of Residence:: Japan

Street of mailing address:: c/o K.K. HONDA GIJYUTSU KENKYUSHO
4-1, Chuo 1-chome

City of mailing address:: Wako-shi

State or Province of mailing address:: Saitama-ken

Country of mailing address:: Japan

Postal or Zip Code of mailing address::

Applicant Authority Type:: Inventor

Primary Citizenship Country:: Japan

Status:: Full Capacity

Given Name:: Masakazu

Middle Name::

Family Name:: Kawai

Name Suffix::

City of Residence:: Wako-shi

State or Province of Residence::

Country of Residence:: Japan

Street of mailing address:: c/o K.K. HONDA GIJYUTSU KENKYUSHO
4-1, Chuo 1-chome

City of mailing address:: Wako-shi

State or Province of mailing address:: Saitama-ken

Country of mailing address:: Japan

Postal or Zip Code of mailing address::

Applicant Authority Type:: Inventor

Primary Citizenship Country:: Japan

Status:: Full Capacity

Given Name:: Yosuke

Middle Name::

Family Name:: Endo

Name Suffix::

City of Residence:: Wako-shi

State or Province of Residence::

Country of Residence:: Japan

Street of mailing address:: c/o K.K. HONDA GIJYUTSU KENKYUSHO
4-1, Chuo 1-chome

City of mailing address:: Wako-shi

State or Province of mailing address:: Saitama-ken

Country of mailing address:: Japan

Postal or Zip Code of mailing address::

Applicant Authority Type:: Inventor

Primary Citizenship Country:: Japan

Status:: Full Capacity

Given Name:: Tatsuya

Middle Name::

Family Name:: Noda

Name Suffix::

City of Residence:: Wako-shi

State or Province of Residence::

Country of Residence:: Japan

Street of mailing address:: c/o K.K. HONDA GIJYUTSU KENKYUSHO
4-1, Chuo 1-chome

City of mailing address:: Wako-shi

State or Province of mailing address:: Saitama-ken

Country of mailing address:: Japan

Postal or Zip Code of mailing address::

Correspondence Information

Correspondence Customer Number :: 007609
Phone number:: 216-566-9700
Fax Number: 216-566-9711
E-Mail address:: spaw@rankinhill.com

Representative Information

Representative Customer Number::	007609	
----------------------------------	--------	--

Domestic Priority Information

Application::	Continuity Type::	Parent Application::	Parent Filing Date::

Foreign Priority Information

Country::	Application number::	Filing Date::	Priority Claimed::

Assignee Information

Assignee name::	HONDA GIKEN KOGYO KABUSHIKI KAISHA
Street of mailing address::	1-1, Minami-Aoyama 2-chome
City of mailing address::	Minato-ku Tokyo
State or Province of mailing address::	
Country of mailing address::	Japan
Postal or Zip Code of mailing address::	

546 歩行機能補助装置の研究 (第二報)

The concept of a walking assistance suit (Vol.2)

○ 正 加藤 久 (本田技術研究所) 芦原 淳 (本田技術研究所)
工藤 浩 (本田技術研究所) 河合 雅和 (本田技術研究所)
遠藤 洋介 (本田技術研究所) 野田 達哉 (本田技術研究所)

Hisashi KATO, HONDA R&D CO., LTD. Wako research center
4630 Shimotakanezawa, Haga-machi, Haga-gun, Tochigi, 321-3393
Jun ASHIHARA, Hiroshi KUDO, Masakazu KAWAI, Yosuke ENDO, Tatsuya NODA
HONDA R&D CO., LTD. Wako research center
1-4-1 Chuo Wako-shi Saitama 351-0193

This is a further study of research on the basic theory of walking assist, the estimation of ground reaction force and the structure of exoskeleton-type powered suit for the walking assist reported in D&D2001. In order to examine the theory of walking assist developed a new powered suit with multiple degrees of freedom in the structure and low-profile compact actuators with the aim of better fitting the human joint axis. In tandem with the increase of the degree of freedom in the powered suit we extended the computational body model from 2 dimensions into 3 dimensions and the accuracy in the estimation of the ground reaction force has increased accordingly. In addition to that we will report a quantitative method to evaluate the effect of the assist.

Key Word : walking assistance suit

A 1. はじめに

自立歩行ロボットの応用研究として人間との協調性、親和性に重点を置いた「人にやさしいヒューマンフィッティング・ロボット」の研究報告を D&D2001 において行った。本稿では続報として実用的なアシスト研究を行うための実験機の概要と評価手法についての報告を行う。

A 2. 軽量・小型装置の研究

歩行機能補助装置 (以下、アシスト・ロボットと記す) の実験用装置の基本的な考え方として多様な歩行運動に追従できる柔軟機構と、効率良くアシストトルクを与える伝達機構、軽量・小型アクチュエータの研究を目標とした。図 A1 に実験用装置を示す。

- 1) 多自由度機構装置
外骨格装置の課題である関節軸と装置軸のオフセットを吸収する軸受け機構を設置した。
- 2) 薄型軽量アクチュエータ
人間に装着することを考慮し薄型・軽量・安全性を重点課題とし偏平ブラシレス多極モータと多段遊星減速機、クラッチ機構を有した専用設計を行った。

A 3. アシスト制御

アシスト・ロボットの制御演算は身体制御モデルに関節角等の運動情報から床反力を推定し逆動力学演算によって各関節モーメントを算出、装着者の廃用性筋萎縮を最小限に抑制するため、基本運動モードを超える運動エネルギーのみをアシストしている。⁽¹⁾ アシスト・ロボット装着者に違和感なく効果的なトルクを与えるため、多自由度機構装置に対応した制御モデルの変更と演算精度向上を行った。

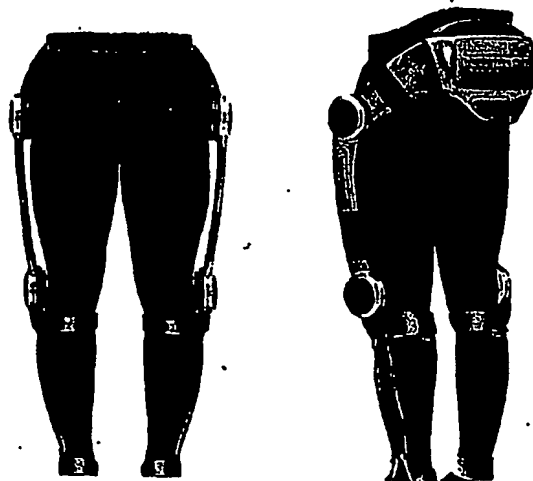
- 1) 床反力作用点推定

固定しことが演算誤差を大きくする原因となっていた。⁽¹⁾ 対策として制御モデルに第五中足指節関節を追加し身体重心との関係式を設けた。

- 2) 三次元ハイブリッド制御モデル
多自由度機構装置化に伴い三次元制御モデルの採用を検討した。解剖学的関節可動域と運動特性から、胸部、腹部、腰部、大腿部、下腿部からなる剛体リンクモデルを用いた。各リンク間の自由度は、腰部一関節を3軸、下肢を水平軸回りの2軸とした。

A 4. アシスト効果の定量的検証手法

人間に対するアシスト効果を検証する手法として装着者の主観評価に加え定量的評価手法の導入を検討した。呼吸代謝測定による全身の運動消費エネルギーと筋電位計測による運動作用筋の発起力比較により効果検証を行った。



1. はじめに

D&D2001 において自立歩行ロボットの応用研究として人間との協調性、親和性に重点を置いた「人にやさしいヒューマンフィッティング・ロボット」の研究報告として研究のコンセプト、アシストの基本的な考え方と制御理論、プロトタイプによる基礎実験結果の報告を行った。本稿では続報として実用的なアシスト研究を行うための実験機の概要と制御演算精度向上を図るための制御モデル、アシスト効果の定量的検証手法についての報告を行う。

2. 軽量・小型装置の研究

2・1 多自由度機構装置

人間に装着する外骨格型アシスト・ロボットを設計する場合の重点項目として人間の関節運動に追従できる軸受け機構と軽量・小型化である。一般的に治療用装置は可動に制限をつけることによって治療効果を上げているが、アシスト・ロボットを必要とする虚弱健康者に対しては歩容の変化や各関節に与える負荷を考慮し最小限の制限に留める必要がある。また効率的にアシストトルクを与える伝達機構を有する装置とアクチュエータは必須である。アクチュエータはアシスト研究を行う上で制御の容易性から関節軸上に薄型・軽量のサーボ・モータを配置して行った。

2・1・1 筋肉配置を模倣した拘束条件

アシストが必要とされる負荷運動は主に大腿部は大腿四頭筋とハムストリング、下腿部は前脛骨筋と腓腹筋の拮抗運動において行われる。これらの筋肉は各関節に始・終点を配置している。人間の解剖学的構造を模倣することで下肢負荷運動に対して効果的なトルク伝達を目指すこととした。股関節部の支持は膝下丹田部を起点に上前腸骨棘から腸骨稜を通るテンションベルトと後背面のサポートパッドにおいて拘束固定とした。膝関節の支持は靭帯・腱が集中する腓骨頭付近。足関節の支持は重量負荷回避を兼ねた踵骨付近固定構造とした。図1に解剖学的な拘束点と作用筋、実験用装置の拘束点とトルク方向を示す。

2・1・2 関節機構と軸受機構

関節の可動特性は部位により特徴が見られる。股関節は臼状関節の三軸、膝関節は蝶番関節の一軸、足関節は蝶番関節と顆状関節からなる複合三軸にて形成されている。図2は矢状面における股関節、膝関節の屈曲運動時の大腿骨長と股関節との接点軌跡を表した図である。膝関節は大腿骨内外側上顆の顆状形状により屈曲によって軸長差 L_k が生じる。図3は前額面における股関節の内外転運動時の股関節と外骨格装置の軸長変化を表した図である。立位にて人間の股関節軸上に固定された装置股関節軸 $Ac0$ は体表面上にあることから外転によって軸長差 $Lh-con$ の収縮、また内転により軸長差 $Lh-exp$ の伸張が発生する。さらに足関節は前述の様に複合三軸であることからその可動は複雑であり本稿では省くが、これらの各関節可動特性を満ちた実験用装置として以下の構造を製作した。

2・1・3 実験用装置の可動特性

図4にアシスト・ロボットの可動特性を示す。股・膝関節軸上のアクチュエータ間に軸長変化を吸収するスライドルールを設けた。伸縮幅は実測値から 100mm を設定した。また、股関節の内外転・内外旋を吸収する構造としてラン

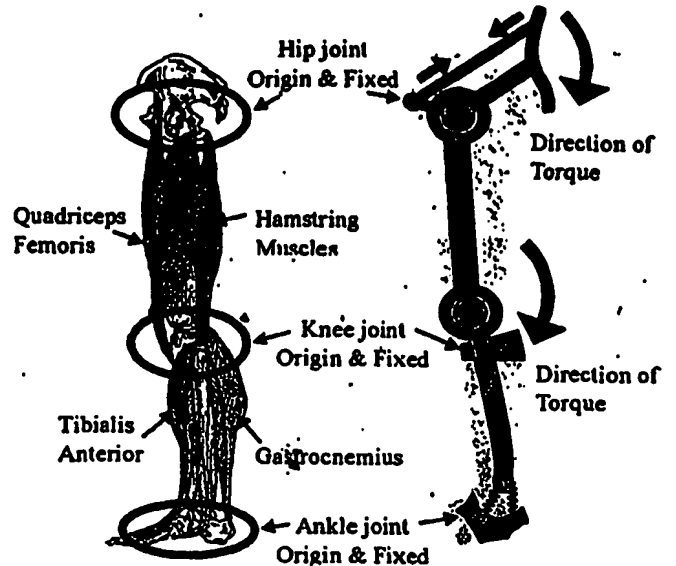


Fig. 1 Anatomical muscle origin and operation of muscle. Fixed point and direction of torque in assistance robot.

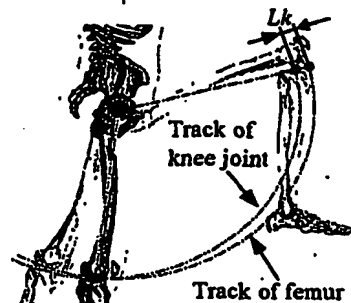


Fig. 2 Flexion track of knee joint and femur

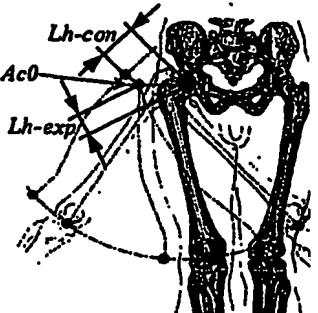


Fig. 3 Abduction and adduction track of hip joint

を設けた。また、複合軸に対応し装置重量を補償する足関

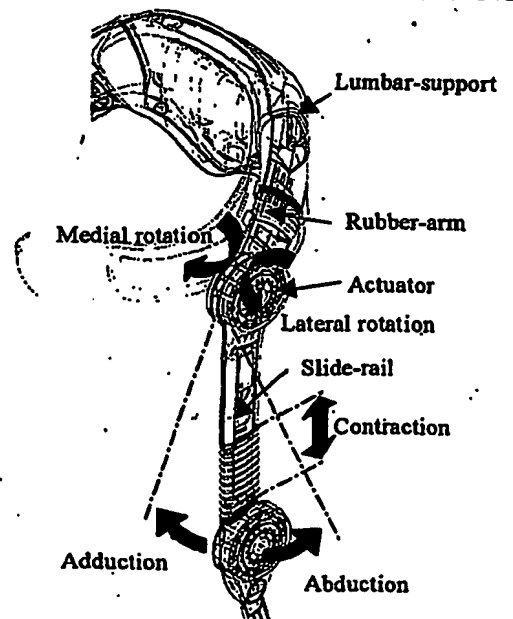


Fig. 4 Movable characteristic of assistance robot

節機構として図5に示す構造を設けた。膝関節アクチュエータに接続されたレッグ・サポート端部にスパイラル・ボーンと呼ばれる複合巻偏平コイルを外果に跨ぐ様に設置し変位安定性を保つ構造とした。図5に外転・底屈および背屈状態のスパイラル・ボーンの状態を示す。

2・1・4 関節角度軌跡比較

装置の自由度を検証する方法として図6は定常歩行時の股・膝関節屈伸角度を三次元動作解析装置において測定比較したものである。縦軸に膝関節、横軸に股関節、正数を屈曲、負数を伸展の角度を示す。緑線は人間の自然歩行、赤線は多自由度装置装着時、青線は下肢対麻痺患者治療用装置にアクチュエータを設置した旧型実験用装置の関節軌道を示す。旧型実験用装置は人間の自然歩行に比べ屈伸幅も広く軌跡も円滑ではない。これは体幹、大腿、下腿部をコルセットによって固定し、前述の関節軸間の変化を許容する機構が無いことから歩容変化として現れたことが解る。一方、多自由度装置は自然歩行と同様の軌跡を示すことから装置装着による歩行自由度を損なわない構造であることが解った。

2・2 薄型軽量アクチュエータ

アクチュエータは関節軸上側面部に配置させた。装着者の歩行時に障害とならないようにするため、薄型・軽量化は必須である。市販製品では以上の要件を満たすことが出来ないことから偏平ブラシレス多極モータ、多段遊星減速機、クラッチ機構で構成される薄型アクチュエータの専用設計を行った。表1にアクチュエータの仕様諸元値を示す。

2・2・1 偏平ブラシレス多極モータ

出力性能と薄型化を両立するモータの基本仕様を決定するうえで以下の検討を行った。

- 1) 占積率の向上
- 2) 巻線高さの減少
- 3) 多スロット化によりトルクリップルの低減
- 4) モータ回転時の磁気騒音低減
- 5) パスバーによる結線
- 6) IPM(Interior Permanent Magnet)方式ロータの採用
- 7) ロータ漏れ磁束によるホール IC センシング
- 8) ホール IC による駆動及び角度検出
(光学式ロータリエンコーダ廃止)

図7にアクチュエータ外観図を示す。固定子は薄型化とトルクリプル(コギングトルク)を低減させるため10極12固定子を二分割し20極24固定子とした。更に占積率を上げる手法として分割組立て固定子を採用しリング状ハウジングに圧入固定した。パスバーは組立て性を考慮し銅板接着した2積層基板を製作し、パスバー基板内側にロータ位置検出用のホール IC センサ基板を配置しロータ漏れ磁束によるセンシング方式の採用を行った。ロータは IPM 方式を採用しておりネオジウム製永久磁石の配置・形状は有限要素法による電磁界解析ソフトウェアを使用し最適設計を行った。また、前述のホール IC を6箇所に設置し、CW、CCW 毎に検出し双方向回転検出精度を上げたほか、120 パルス/回転を利用し多段遊星減速機の減速比 1/50 を乗算することで出力軸 6000 パルス/回転の検出が可能となったことから光学式ロータリエンコーダの廃止を行うことが出来た。

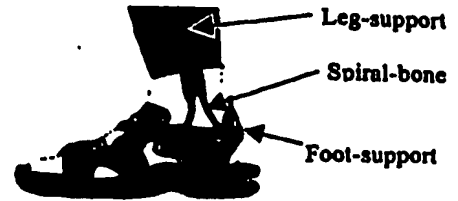


Fig.5 Structure of ankle joint

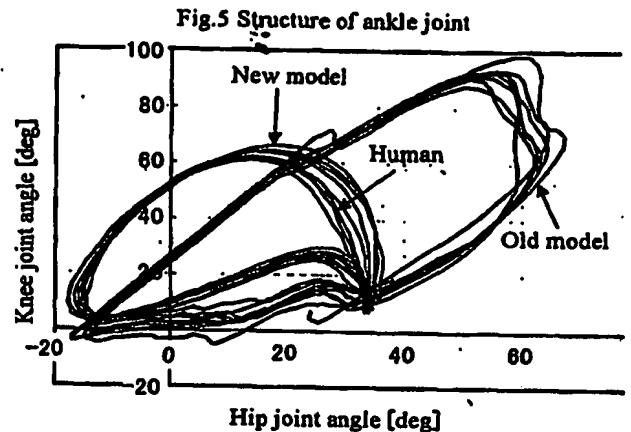
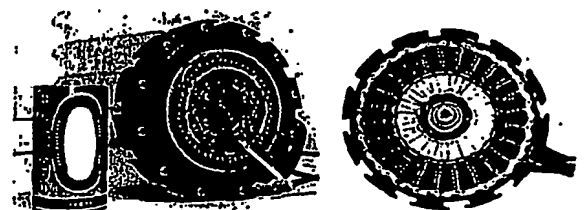


Fig.6 Track of Hip and Knee joint angle

Table 1 Specification of actuator

Size of actuator (D/H)	φ 96 / 27
Weight of actuator (g)	610
Max. power of actuator (W)	160
Max. torque of actuator (Nm)	30
Type of reduction	Planetary 3 stage
Reduction ratio	1:50
Type of clutch	Engage
Motor type	Brushless with Sensor
Rotor type	Inner rotor
Rotor geometry	IPM
Supply voltage (V)	24
Poles	20
Slots	24
Type of coil connection	Busbar
Sensor of Pole position	Hall IC



2・2・2 多段遊星減速機

薄型で高減速比を少段数で設定できる手法としてハーモニックドライブ方式や不思議遊星歯車方式等が有用な減速機構である。しかしその特徴的な構造から薄型化への限界や人間側から出力軸に逆入力した場合、過大なトルクを必要とすることから遊星歯車方式を取り入れた。通常、遊星歯車方式で多段にする場合は軸方向に構成されるが薄型化を図るため図8に示す径方向の二重環方式を考案し省スペースで高減速比を確保することが出来た。モータから入力された太陽歯車 S_1 は遊星歯車 P_1 を介し環状歯車 R_1 に伝達され一段目駆動される。環状歯車 R_1 は外歯を有しており太陽歯車として環状歯車 R_2 軌道で遊星歯車 P_2 に二段目駆動される。遊星歯車 P_2 はギアキャリアを介して太陽歯車 S_2 と環状歯車 R_2 上の遊星歯車 P_3 に三段目駆動され出力軸に連結した。図9に減速機歯車の外観を示す。

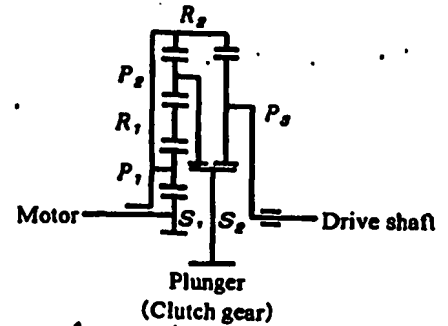


Fig.8 Layout of Reduction

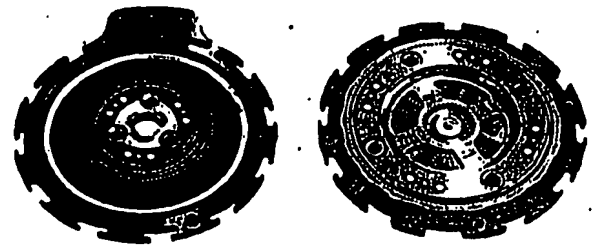
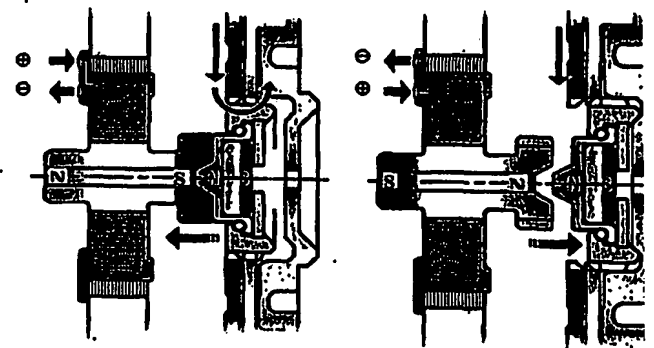


Fig.9 Reduction gear

2・2・3 クラッチ機構

アシスト・ロボットを装着および脱着する場合、装置の位置合わせや収納の際にアクチュエータを出力軸より逆入力によって動かそうする場合が生ずる。この時歯車のフリクション及びモータのコギングトルクが大きな負荷となり、大きな力が必要となる。ここで、出力軸と歯車を切離すことにより負荷が低減され、装具装着が容易に行うことが可能となる。また、電力低下等でアクチュエータの補助が不可能であると判断した場合の安全機構としても有用性が高いと考えられクラッチの採用を検討した。このクラッチ機構は薄型化を優先したことから噛合い方式を採用した。図10にクラッチの作動原理を示す。クラッチ作動は電磁石による電氣的切替えと作動ピンを使用した手動切替えが可能で遊星歯車2段目のギアキャリアと3段目の太陽歯車の断接をすることによりギアの動力伝達および遮断をしている。電磁コイルはロータ軸中心に埋め込み通電はブラシ接点にて行った。クラッチプランジヤに永久磁石を取り付け、ロータ軸を磁極鉄心として使用。通電方向によって極性を変化させ吸着=接合(図10左側)、反発=切断(図10右側)とした。また、クラッチ作動後は磁力により吸着することからプランジヤ位置が固定され作動時のみの通電で省電力化が図れた。



State of Clutch ON

State of Clutch OFF

Fig.10 Structure of Clutch

3. アシスト制御

アシストトルクを決定するうえで関節に発生するモーメントを推定演算し運動状態からアシスト比を算出しアクチュエータを制御している。D&D2001の報告は、前方向と鉛直方向を含む矢状面内で床反力作用点(center of pressure; COP)を足関節に固定し身体重心(center of gravity; COG)に向かって床反力(floor reaction force; FRF)が発生すると仮定し、動作計測と逆動力学演算を行う二次元モデルであった。本モデル構築の課題として床反力(FRF)推定値が計測値に対して誤差があることと人間の三次元的な動作に対応していないという問題点があった。

(1)本研究では関節モーメント推定演算精度を向上させるために床反力作用点(COP)推定式の見直しと装具の多自由度に伴い多様な動作に対応した三次元制御理論の構築を目標とした。図11の計算フローチャートに示すように関節モーメント推定は身体モデルの初期数値入力、センサ計測、発生力推定演算、各節の分担力演算に分けることができる。発生力は動作計算、床反力(FRF)推定および床反力作用点(COP)推定演算に分けられる。図中網掛け部は三次元

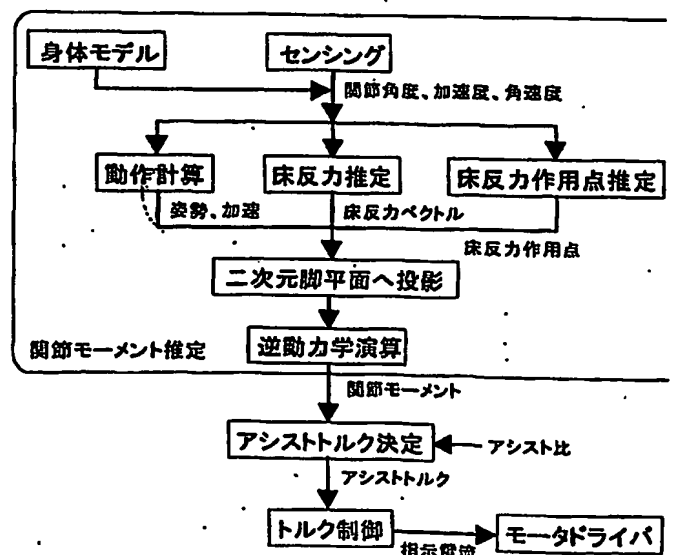


Fig.11 Flowchart of Assist system

3・1 床反力作用点推定

D&D2001の報告では床反力進行方向成分において、計測値との誤差が発生しており、床反力作用点 (COP) を前述の様に足関節に固定したモデルにて演算を行っていたことが原因であると報告を行った。⁽¹⁾ 図12は床反力 (FRF)、床反力作用点 (COP)、身体重心 (COG) の関係を示す。足関節に床反力作用点 (COP ank) を置いた場合、床反力ベクトルは膝関節の後方に位置し屈曲モーメント (M_{ank}) として推定される。計測値では伸展モーメントの値が発生しておりモーメント方向が逆転していることが分かった。対策として演算モデルに中足指関節 (Metatarsophalangeal joint; MP) を設置した。赤矢印は MP 関節に床反力作用点 (COP mp) を置いた場合の床反力ベクトルが伸展モーメント (M_{mp}) を示す概念図である。また、更なる精度向上を目指し図13に示すように身体重心 (COG) と足部の位置関係から床反力作用点 (COP) 位置を変化させることでモーメント方向の誤判別、数値誤差の低減が図れた。身体重心 (COG) が足関節より後方にある場合は足関節の真下 (図13左図)、足関節 (ank) と中足指関節 (mp) との間にある場合は身体重心 (COG) の真下 (図13中央)、身体重心 (COG) が中足指関節より前方にある場合は中足指関節の真下 (図13右図) より床反力作用点 (COP) があるものとした。

3・2 三次元ハイブリッド制御モデル

関節モーメント推定演算を行ううえで三次元化による計測項目の増加から逆動力学演算の過程で演算誤差を拡大させる懸念がある。そこで三次元計測または推定された加速度や床反力ベクトルを二次元平面 (股・膝・足関節を通る脚平面) へ投影し演算するハイブリッド型 (以下 HYB と記す) の制御モデルを考案した。図14に三次元 HYB モデルの演算概念図を示す。身体モデルは、胸部、腹部、腰部、大腿部、下腿部、足部の9リンクモデルとし頭部、頸部、上肢は胸部に統合した。リンク自由度は、腰部一関節を3軸、下肢を水平軸回りの2軸とした。図15に前項で述べた COP と各制御モデルの定常歩行 4.5km/h 時における1周期の股・膝関節モーメントの計算結果比較を示す。正数を伸展方向、負数を屈曲方向のモーメントとした。各モデルの演算結果は二次元を緑線、三次元を青線、HYB を赤線で示す。各節の位置データは三次元動作解析装置、作用力は床反力計にて測定されたものを使用した。股・膝関節とも三次元および HYB モデルは差がなく安定した演算結果が得られたが、二次元モデルは遊脚期に顕著に差が出ている。これは遊脚期に行われる下肢の三次元軌道に対して二次元変換する際の演算誤差が生じたものである。次に装具の股関節角度センサと人間とのずれ (誤差) に対する許容性の検証を図16にて行った。定常歩行時の股関節角度センサに故意に外旋および外転角度を入力した場合の平均誤差と標準偏差値を示す。三次元の股関節を紺線、膝関節を青線、HYB の股関節を赤線、膝関節を桃線にて示す。

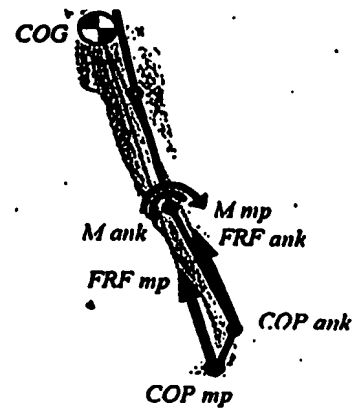
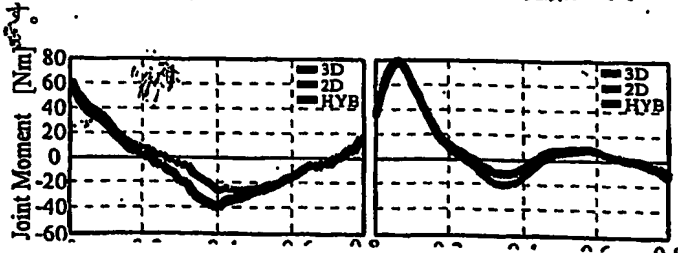


Fig.12 Image of COP & FRF & COG

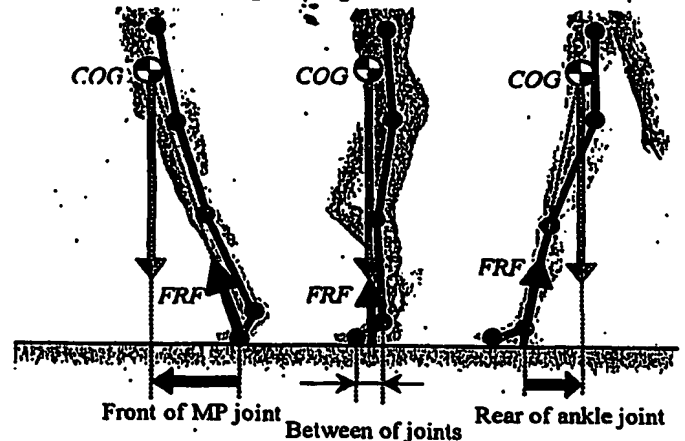


Fig.13 Conceptual diagram of COP & FRF & COG

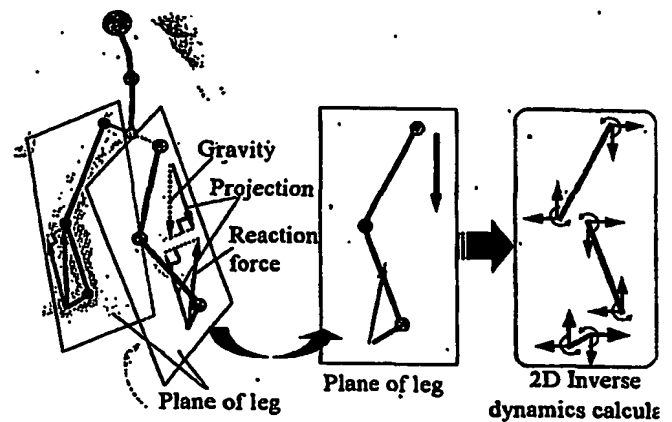


Fig.14 Conceptual of 2&3dimensional hybrid type operation models

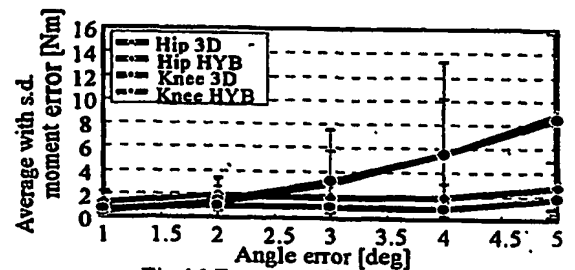


Fig.16 Error moment of moment

三次元および HYB モデルとも入力誤差 2° までは同等な数値が得られたがそれを超えると三次元モデルの場合、誤差量が拡大するが HYB は安定した数値を示した。これは各節三次元逆動力学演算による誤差拡大が原因であり HYB モデルは人間の関節軸機構から考えてもアシスト・ロボットに適した制御モデルであることが確認された。

4. アシスト効果の定量的検証手法

人間に対するアシスト効果を検証する方法として、従来行っていた主観的評価だけでは装着者によって評価基準が異なり、客観的に装具の評価をすることが困難であった。また個人の中でも同じアシスト量であるにも関わらず、体調や環境をはじめ直前のアシスト内容によっても感じ方が異なるという問題があった。そこで定量的評価手法として、呼吸代謝測定(全身の評価)と表面筋電位計測(局所的な評価)を導入した。人間は運動強度に応じて酸素を体内に取り込み、エネルギー源であるアデノシン三リン酸(ATP)を再合成する。ATP を再合成する際に発生する二酸化炭素や水は、呼吸や汗となって体外へ放出される。よって人間の呼吸代謝を計測すれば、消費エネルギーを計測できる。(2)呼吸代謝測定には COSMED 社の K4b2 を使用した。また表面筋電位は、その発生量が発揮した筋張力と相関があると言われている。(3)今回、大腿四頭筋の表面筋電位を計測し、その絶対値を積分した。適切にアシストできれば運動に要する消費エネルギーや筋肉の負担が軽減し、両指標は低下するものと思われる。実際に階段を上ったとき(60step/min)の測定結果を図 17、図 18 に示す。図 17 は呼吸代謝測定の結果であり、横軸は装具の装着条件、縦軸は消費エネルギー[kcal/min]である。また図 18 は表面筋電位の結果であり、横軸は装具の装着条件、縦軸は筋電積分値(IEMG) [mV·s]である。アシスト ON の場合、アシスト OFF の場合に比べ消費エネルギーと IEMG が低下していることがわかる。しかし装具を装着しない場合に比べると、負担となってしまう。これはアシストの効果は装具重量の影響を補償しきれなかったためと思われる。今後は客観的定量的評価と主観的評価を用いたアシスト効果検証を基本とし、評価基準の策定を進めて行く必要があると考えられる。

5. まとめ

人にやさしいヒューマンフィッティング・ロボットを実現する手法として以下の結論を得ることができた。

- (1) 人間の歩行アシストを研究するための有用な実験機の基本仕様(機構、制御、評価手法)を確立した。
- (2) 関節軸と装具軸のオフセットを吸収する装具機構の採用により外骨格装具の課題を解決した。
- (3) 薄型軽量アクチュエータの専用設計を行うことで効率的にアシストトルクを与えることができる実験用装具を製作できた。
- (4) 床反力作用点位置の新推定式導入と三次元ハイブリッド制御モデルの採用によってアシスト・ロボットに適した制御モデルが構築できた。
- (5) アシスト効果の定量的検証として呼吸代謝測定、表面筋電位計測は有用な手法である。今後、主観的評価法と組み合わせた新たな評価基準の策定を進めて行く必要がある。

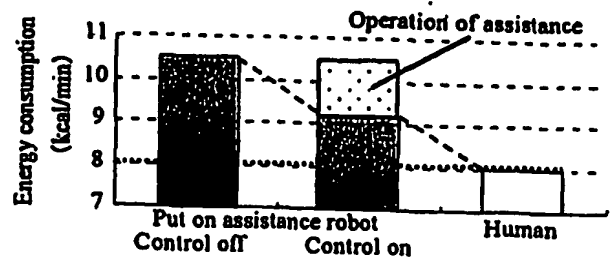


Fig.17 Operation of assistance for energy consumption

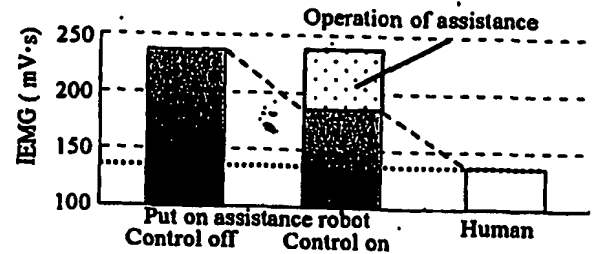


Fig.18 Operation of assistance for IEMG

6. おわりに

本研究は「人にやさしいヒューマンフィッティング・ロボット」の実現を目指し自立歩行ロボットの研究で培った歩行制御技術を基礎に人間との協調性、親和性の研究を核とした虚弱高齢者のための歩行アシスト・ロボットである。しかし、本研究はアシスト・ロボットと云う機械を研究製作することでは無く人間の機能研究と補助機能研究にある。今後の研究の展望は下肢だけではなく上肢や体幹部を含めた全身に渉る運動機能補助や視覚・感覚機能補助をも視野に入れている。対象も虚弱高齢者だけではなく医療現場から重作業者に至るまで幅広い分野で活用できる研究を行うことである。その姿は求められる分野に応じて機能・性能は異なるが、「楽」と言うアシストの価値を与えるだけではなく「機能維持」や「機能回復」というものにも重点を置いた研究が必要であると考えている。

謝 辞

本研究を行うにあたり、歩行分析評価およびリハビリ工学のご指導とご高配を賜りました社会福祉法人 神奈川県総合リハビリテーションセンター リハ工学研究室に厚くお礼申し上げます。また、老人医学および老人運動機能に関してご懇篤なご指導を戴いた財団法人 東京都老人総合研究所 免疫・福祉・政策研究 Gr に心から御礼申し上げます。更に人間工学を基本としたフィッティング技術の共同研究にご賛同戴いた株式会社 ワコール人間科学研究所に深く御礼申し上げます。

文 献

- (1) 加藤 久, 平田 崇, 歩行機能補助装置の研究, D&D2001 福祉工学シンポジウム(2001), W418
- (2) 中澤公孝: 表面筋電図の処理, スポーツバイオメカニクス(2000), 115-119
- (3) J.M.Brockway: Derivation of formulae used to calculate energy expenditure in man, Human Nutrition, Clinical Nutrition(1987)41C, 463-471.

ARTIFACT SHEET

Enter artifact number below. Artifact number is application number + artifact type code (see list below) + sequential letter (A, B, C ...). The first artifact folder for an artifact type receives the letter A, the second B, etc.. Examples: 59123456PA, 59123456PB, 59123456ZA, 59123456ZB

60486543

Indicate quantity of a single type of artifact received but not scanned. Create individual artifact folder/box and artifact number for each Artifact Type.

☐

CD(s) containing computer program listing

Doc Code: Computer

Artifact Type Code: P

☒

Stapled Set(s) of Extra Color Drawings/Photographs

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: C

☐

CD(s) containing pages of specification
and/or sequence listing

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: S

☐

CD(s) with content unspecified

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: U

☐

Microfilm(s)

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: F

☐

Video tape(s)

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: V

☐

Model(s)

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: M

☐

Bound Document(s)

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: B

☐

Other, description:

Doc Code: Artifact

Artifact Type Code: Z

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.